

СТРУКТУРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ПРИ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ХРОМОАЛИТИРОВАНИИ

К. К. Бахрунов, Б. Д. Лыгденов

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
г. Улан-Удэ, Россия

В данной статье показан анализ полученных модифицированных покрытий на основе циркуляции в рабочей газовой среде и дан сравнительный анализ. Приводятся полученные результаты по испытаниям на жаростойкость покрытий.

Ключевые слова: жаростойкие, жаропрочные покрытия, циркуляционный метод

STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION COATINGS IN CIRCULATION Cr-Al

K. K. Bakhrunov, B. D. Lygdenov

East Siberia State University of Technology and Management,
Ulan-Ude, Russia

The analysis of the received modified coverings is shown in this article on the basis of circulation in an actuation gaseous fluid and the comparative analysis is given. The received results on tests for the heat resistance of coverings are given.

Keywords: heat-resistant, refractory coverings, circulating method

В настоящее время одним из наиболее нагруженных деталей газотурбинных двигателей (ГТД) являются лопатки ГТД [1]. В современных авиадвигателях внутренние и наружные поверхности лопаток подвержены взаимодействию раскаленного газового потока в наружных в интервале 1000–1200 °С, а во внутренних полостях 950–1000 °С, поэтому происходит интенсивное уменьшение в поверхностном слое алюминия, отвечающий за жаростойкость, вследствие этого необходимы испытания на жаростойкость,

Получены модифицированные диффузионные покрытия на внутренних и наружных поверхностях лопаток ГТД за счет совершенствования технологии циркуляционного хромоалитирования (ХА) [2].

Методика исследования

Испытания на жаростойкость проводились в открытых электрических печах, при температуре 1050 ± 10 °С и изотермической выдержке в воздушной среде. Образцы хромоалитированные при температуре 1000 °С в течение 4 ч, загружались в предварительно прокаленные (1050 ± 10 °С) корундовые тигли. Испытаниям

подвергались образцы из сплавов ЖС6У, ЖС26, ЖС32 форма и размеры образцов соответствовали требованиям ГОСТ - 6130 (цилиндрические образцы диаметром 10 ± 0,1 мм, высотой 20 ± 0,1 мм) на жаростойкость при температуре T = 1050 °С в печи СНОЛ и продолжительности от 400 ч до 1500 ч.

Для обеспечения точечного соприкосновения образцов на дно тигля укладывались фрагменты прокаленного корунда. Контроль, измерение и регистрация температуры нагрева образцов осуществляется в течение всего периода испытаний. Испытания проводились в среде спокойного воздуха.

В соответствии с требованиями ГОСТ-6130 перед испытаниями на жаростойкость поверхность покрытий не должны иметь следов коррозии, цветов побежалости, трещин, сколов, пор и других дефектов. Наличие дефектов проверяется с помощью лупы 3–5-кратного увеличения. Образцы с дефектами к испытанию не допускались.

Микрорентгеноспектральный анализ химического состава покрытий, выполняли методом ЭМРА – испытаний [3]. Оценку фазовой

стабильности покрытий проводят на рентгеновском дифрактометре на образцах, отобранных в ходе испытаний. По результатам фазового анализа покрытий строят кривые стабильности основных фаз покрытий β -NiAl и γ' -Ni₃Al. При исчезновении в покрытии фазы β -NiAl, ответственной за жаростойкость, срок службы покрытия считается исчерпанным.

Разработанные режимы одно- и двухстадийного циркуляционного ХА первоначально

выполнены на лабораторной установке (рисунок 1), а затем и на промышленной установке [4].

Объектами исследования являлись образцы из никелевых сплавов ЖС6У, ЖС26У, ЖС32 и лопатки ГТД из указанных сплавов. В качестве исходного материала служил гранулированный сплав Cr – Al с размером гранул 10 x 20 мм при различном соотношении компонентов Al:Cr [5].



Рисунок 1 – Внешний вид лабораторной циркуляционной установки [4]

Результаты исследования

Результаты испытания на жаростойкость при температуре 1050 °С в течение 1500 ч выявили, что микроструктура покрытий на всех образцах претерпели структурные изменения. Исходные структуры покрытий в сплавах ЖС представлены на рисунке 2.

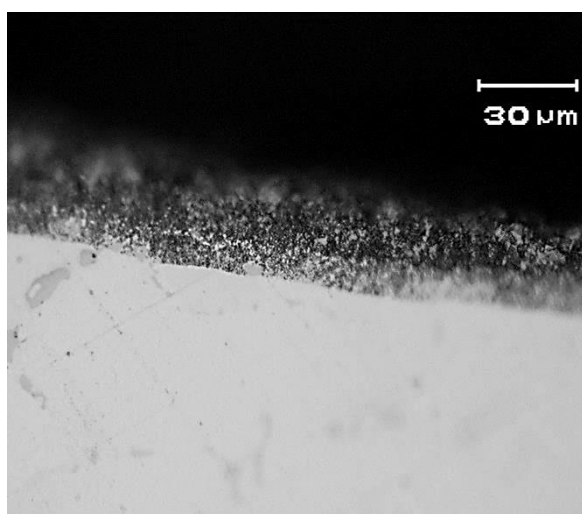
В сплаве ЖС26У (рисунок 2а) наблюдается значительное укрупнение размера, структура заметно скоагулирована, видны зерна, γ' -фаза светлого цвета и наблюдается твердый раствор алюминия в никеле темной окраски. На других сплавах структурные изменения в покрытиях имеют менее выраженный характер. В сплаве ЖС32 (рисунок 2в) до испытания, в основе сплава присутствовала γ' -фаза в

мелкодисперсной форме, после испытания на жаростойкость в течение 1500 ч наблюдаются скоагулированные и укрупненные фазы, в поверхностном слое покрытия наблюдаются светлые островки γ' -фазы и темная область β -фаза, во внутреннем диффузионном слое наблюдается гетерогенная многофазная структура, наблюдаются небольшие островки по диффузионному слою усыпано карбидами различной формы, а также игольчатыми карбидами вокруг которого наблюдается обеднение γ' -фазы. В сплаве ЖС32, как и в сплаве ЖС26У, коагуляция и укрупнение γ' -фазы. Сохраняются области темной окраски β -фазы. В структуре ЖС26У наблюдаются игольчатые выделения карбидов, их образование крайне

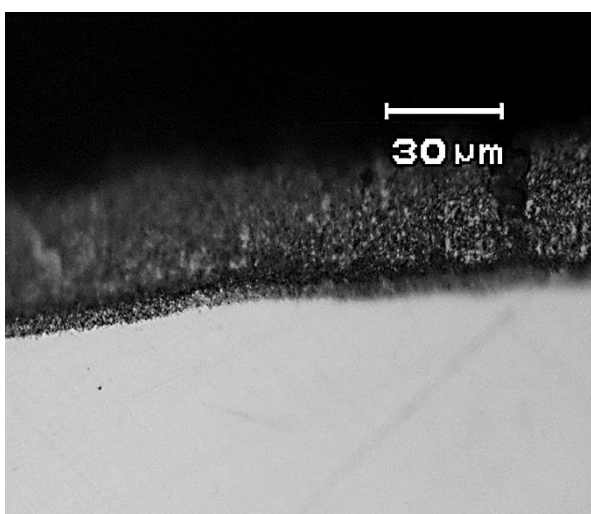
СТРУКТУРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ПРИ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ХРОМОАЛИТИРОВАНИИ

нежелательно, которые могут приводить к зарождению трещины и последующему разрушению материала, в ЖС32 наличие кристаллографически ориентированных игольчатых выделений намного мельче, чем в сплаве ЖС26У. Внутренний слой покрытия имеет более темную окраску и наименьшую толщину, в связи с его большей легированностью тугоплавкими элементами по отношению к другим сплавам. Эта часть покрытия является зоной

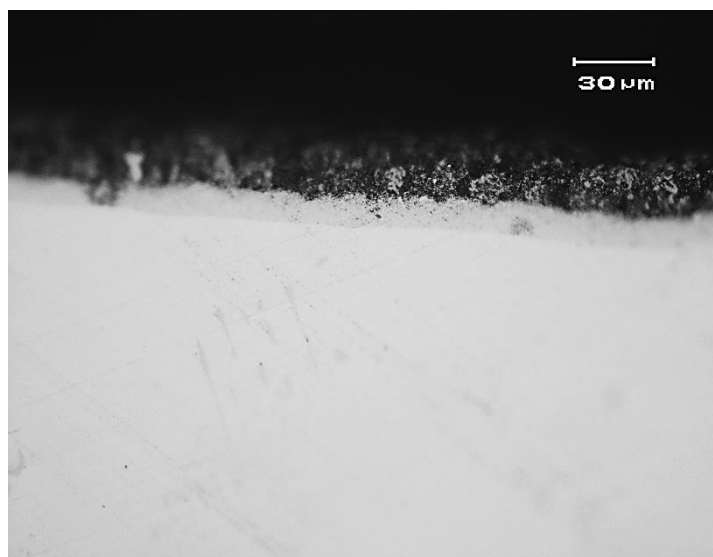
внутренней диффузии и зависит от степени легированности сплава тугоплавкими элементами. При исследовании микрошлифов после испытаний установлено, что толщина светлых пятен, в виде вытянутых пластин γ' -фазы, с размером частиц ближе к покрытию на сплаве ЖС6У – 0,08–0,09 мм, ЖС26У – 0,045–0,05 мм, на ЖС32 – 0,055–0,6 мм. В структуре лопатки из сплава ЖС32 коагуляция γ' -фазы выражена менее, чем в сплаве ЖС26У.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Микроструктура покрытий (до испытания) после хромоалитирования при температуре 1000 °С в течение 4–6 ч в источнике NiCl_2 : а) ЖС6У; б) ЖС26У; в) ЖС32 ($\times 1000$)

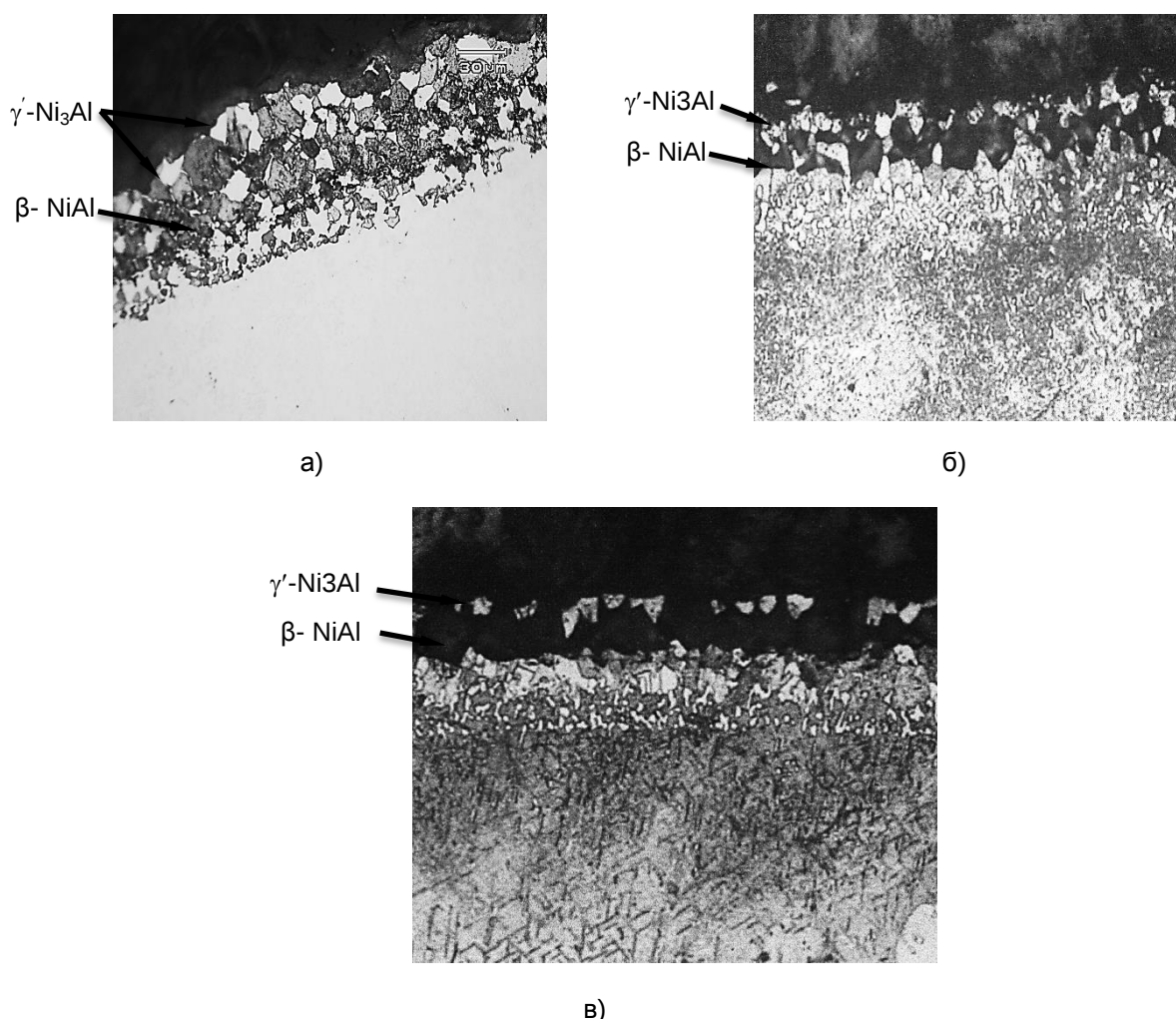


Рисунок 3 – Микроструктура покрытия на сплавах: б) ЖС26У, в) ЖС32, после испытания на жаростойкость в воздушной среде при температуре 1050 °С в течение 1500 ч ($\times 500$)

На основании анализа химического состава и толщины покрытий свидетельствует об одновременном протекании двух процессов: окислении и диффузионном перераспределении алюминия в сплаве. Химический анализ покрытий после испытаний на жаростойкость в воздушной среде при температуре 1050 °С в течение 1500 ч, представлен на рисунке 3, наблюдается в образце из сплава ЖС6У алюминия 7,73–10,38 % и хрома 2,5 %, а также молибдена 5,2 %, нежелательно, так как снижает жаростойкость покрытия, но содержание алюминия находится на достаточном уровне. В сплаве ЖС26У наблюдается, содержание алюминия 4,93–15,93 %, причем в поверхностном слое алюминия 15,93 %, хрома 2,88–4,3 %, наличие титана 0,77–1,22 %, и диффузионном слое молибдена до 12 %. В сплаве ЖС32 содержание в поверхностном слое алюминия сохранилось на тре-

буемом уровне 13,97 %, хрома 2,5–5,65 %, кроме того, имеется наличие кремния и вольфрама 0,87–7,5 %. Исходя из проведенных испытаний и анализа можно, заключить, что защитные свойства покрытий полностью не исчерпаны, нанесения многокомпонентных покрытий заметно повышает свойства, а значит, образует достаточно плотные слои.

В работе [6, 7, 9, 10] показано, что мартенсит пластичнее β -фазы и легко двойникуется, кроме этого мартенситное превращение связано с изменением объема, а значит возникновением напряжений и как следствие возникновение микротрещин и скалывание защитной оксидной пленки. Для предотвращения рассасывания и фазовой стабильности хромоалитированных покрытий при высокой температуре, рекомендуют легирующую добавку, которая адсорбируется на межфазной границе покрытие-подложка и препятствует

СТРУКТУРА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ПРИ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ХРОМОАЛИТИРОВАНИИ

перераспределению атомов на границе.

Хромоалитированные покрытия на всех сплавах имеют двухслойную структуру [8]. Наружный слой состоит из β -фазы, в которой в малых количествах растворены легирующие элементы сплавов. Внутренний слой наряду с алюминием легирован компонентами сплавов. Дополнительно проводили фазовый анализ покрытий на определение наличие фаз β -NiAl и γ' -Ni₃Al. Видно, образование фаз: Al₂O₃, Ni₃Al, NiAl, небольшое образование шпинели NiAl₂O₄. Значит, сохраняется жаростойкая β -фаза, также во время окисления обнаружена γ' -фаза. На поверхности образцов обнаружены слои защитного окисла Al₂O₃, также присутствуют соединения Ni₃Al и смесь оксидов из небольшого количества шпинели NiAl₂O₄ и Al₂O₃. При исчезновении в покрытии β -фазы и снижении содержания алюминия слое в покрытия до 6–8 % ответственной за жаростойкость, срок службы покрытия считается исчерпанным.

В основном, покрытие сохранило свои защитные свойства, что подтверждается наличием плотных защитных окислов. Характерной особенностью является образование в процессе окисления двух фаз β + γ' .

Обсуждение результатов

Испытания лопаток по предложенному способу циркуляционного ХА апробированы в заводских условиях на ММПП «САЛЮТ» на основании этого получен «акт апробации».

Качество получаемых диффузионных покрытий циркуляционным методом подтверждается испытаниями лопаток [4].

Список литературы

1. Абраимов, Н. В. Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин [Текст] / – М.: Машиностроение, 1993, – 336 с.
2. Арзамасов, Б. Н. Циркуляционный метод получения диффузионных покрытий на деталях газотурбинных двигателей и перспективы его развития [Текст] / Б. Н. Арзамасов, А. К. Белявский, А. В. Логунов, Г. Б. Строганов // Вестник машиностроения. – 1991. – № 11. – С. 43–48.

3. Тамарин, Ю. А. Защитные покрытия для лопаток ГТД [Текст] / Ю. А. Тамарин. – М.: Машиностроение, 1978. – 136 с.

4. Бахрунов, К. К. Механические свойства покрытий на никелевых жаропрочных сплавах, полученных циркуляционным хромоалитированием [Текст] / К. К. Бахрунов // Вестник машиностроения. – 2011. – № 7, – С. 63-68.

5. Бахрунов, К. К. Изучение процессов диффузионного насыщения поверхностей никелевых жаропрочных сплавов [Текст] / К. К. Бахрунов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2010. – Т. 1. – С. 55–57.

6. Литвинов, В. С. Двойникование в никель-алюминиевом мартенсите [Текст] / В. С. Литвинов, А. А. Архангельская, В. В. Полева // Физика металлов и материаловедение. – 1974. – Т. 38. – вып. 2. – С. 383–388.

7. Goward, G. W. Current Research on the Surface Protection of Superalloys for Gas Turbine Engines // Journal of Metals. – 1970. – V. 22. – № 10. – P. 31–39.

8. Бахрунов, К. К. Анализ свойств хромоалитированных покрытий никелевых жаропрочных сплавов [Текст] / К. К. Бахрунов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1-1. – С. 28-30

9. Гурьев, А. М. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей [Текст] / А. М. Гурьев, Б. Д. Лыгденов, Н. А. Попова, Э. В. Козлов. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 256 с.

10. Лыгденов, Б. Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой [Текст] / Дисс... канд. техн. наук // Новокузнецк, 2004. – С. 226.

Бахрунов Константин Константинович – к.т.н., доцент

Лыгденов Бурьял Дондокович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металловедение и технологии обработки материалов»

ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ), г. Улан-Удэ, Россия